بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شیراز
دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-کنترل

طراحی کنترلر پیشگو برای کنترل ترافیک در اتوبان ها

توسط:
آزیتا دبیری

استاد راهنما:
دکتر سید علی اکبر صفوی

شهریور ۱۳۸۸

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب آزیتا دبیری (۸۵۰۹۱۶) دانشجوی برق گرایش کنترل دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که پایان نامه و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه نتایج آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

آزیتا دبیری

به نام خدا

طراحی کنترلر پیشگو برای کنترل ترافیک در اتوبان ها

به کوشش:

آزیتا دبیری

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی برق – گرایش کنترل

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر سید علی اکبر صفوی دانشیار بخش قدرت و کنترل (رئیس کمیته).....

دکتر علیرضا خیاطیان دانشیار بخش قدرت و کنترل.....

دکتر کورش زیارتی استادیار بخش مهندسی و علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات.....

شهریور ماه ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادر

عزیزم که همواره مرهون زحمات بی دریغشان خواهم بود

سپاسگزاری

اکنون که توانسته ام در راه شناخت تو قدمی را بردارم تو را سپاس می گویم. سپاس بی کران تو را که پدر و مادری چنین دلسوز را به من اعطا کردی تا بستر این راه را بر من هموار سازند. سپاس بسیار تو را که شمع هدایتت را در دست فرزانگانی سپردی که از علم و مهر آنان بهره جویم. موهبتت را در ادامه این مسیر نیز شامل این بنده حقیر بگردان.

اساتید فرزانه ام جناب آقای دکتر صفوی، دکترخیاطیان و دکتر زیارتی، از اینکه دانش خود را خالصانه در اختیار من نهادید بینهایت سپاسگزارم.

پدر گرامی و مهربانم، مادر عزیز و صبورم، همواره خود را مدیون لطف بی اندازه شما دانسته و بر دستانتان بوسه می زنم.

چکیده

طراحی کنترلر پیشگو برای کنترل ترافیک در اتوبان ها

به کوشش:

آزیتا دبیری

بکارگیری هرچه بیشتر علوم مهندسی سیستم ها و کنترل، موجبات رشد و توسعه هرچه بیشتر کشورها را فراهم می آورد. یکی از زیرساخت های مهم توسعه پایدار، شبکه های حمل و نقل و به طور خاص، بزرگراه ها می باشد. به همین دلیل در سالهای اخیر مدلسازی و کنترل ترافیک در بزرگراهها مورد توجه محافل کنترل بوده است. در این راستا روش های مدلسازی متنوعی پیشنهاد شده است. اما با توجه به ترم های غیر خطی سیستم، بسیاری از این مدل ها قادر به شبیه سازی دقیق رفتار ترافیک نیستند. در این پایان نامه، ابتدا راهکار جدیدی برای بهبود کارآمدی مدلسازی ترافیک به کمک آنالیز مؤلفه های اصلی و شبکه های عصبی پیشنهاد می گردد. در ادامه، عملکرد مدل پیشنهادی در ترکیب با کنترلر پیش بین مورد بررسی قرار می گیرد. در نتایج به دست آمده، مشخص است که کنترلر پیش بین در ترکیب با این مدل، قادر به کنترل ترافیک با استفاده از محدودکننده فلو در بزرگراه مورد مطالعه است. در ادامه، عملکرد مدل پیشنهادی و ترکیب آن با کنترلر پیش بین بر روی داده های حقیقی به دست آمده از بزرگراهی در آمریکا مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش نشان داده شده است که مدل شبکه عصبی پیشنهادی در مقایسه با مدل معروف METANET با دقت بیشتری قادر به مدل کردن رفتار ترافیک در این بزرگراه می باشد. همچنین نشان داده شده است که محدودکننده فلوی بزرگراه با مدل شبکه عصبی و کنترلر پیش بین در مقایسه با محدودکننده سرعت با مدل METANET و کنترلر پیش بین، گزینه بهتری در جهت کنترل ترافیک در این بزرگراه است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- کلیات	۱
۱-۲- سیستم کنترل ترافیک	۳
۱-۲-۱- مدلسازی سیستم ترافیک	۵
۱-۲-۲- سنسورها	۷
۱-۲-۳- راهکارهای کنترل ترافیک	۱۲
فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده	
۲-۱- مدلسازی	۲۳
۲-۲- روش های کنترلی	۲۴
فصل سوم: مدل های ترافیکی	
۳-۱- دسته بندی های مدل های ترافیکی	۳۰
۳-۲- مدل های ماکروسکوپیک	۳۴
۳-۲-۱- مدل LWR	۳۴
۳-۲-۲- مدل Payne	۳۷
۳-۲-۳- مدل METANET	۴۰
فصل چهارم: مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی	

۴-۱- شبکه عصبی ۶۰
۴-۲- شبکه عصبی در سیستم ترافیک ۶۳
۴-۳- آنالیز مؤلفه های اصلی ۶۴
۴-۴- استفاده از PCA در مدلسازی سیستم ترافیک ۶۸
۴-۵- شبیه سازی ۶۹
۴-۶- نتیجه گیری ۷۵

فصل پنجم: استفاده از کنترلر MPC در کنترل ترافیک

۵-۱- اصول اولیه ۷۷
۵-۲- تنظیمات کنترلر ۸۲
۵-۳- مزایا و معایب کنترلر MPC ۸۳
۵-۳-۱- مزایای کنترلر MPC ۸۳
۵-۳-۲- معایب کنترلر MPC ۸۴
۵-۴- کاربرد MPC در کنترل ترافیک ۸۶
۵-۵- استفاده از شبکه عصبی به عنوان مدل در طراحی کنترلر MPC ۹۰
۵-۶- شبیه سازی ۹۲
۵-۶-۱- مدلسازی ۹۳
۵-۶-۲- طراحی کنترلر با قید طول صف کمتر از ۶۰ وسیله نقلیه ۹۶
۵-۶-۳- طراحی کنترلر با قید طول صف کمتر از ۴۰ وسیله نقلیه ۱۰۵

فصل ششم: مطالعه موردی

۶-۱- سیستم پمز ۱۱۵
۶-۲- مطالعه موردی ۱۲۰
۶-۲-۱- بزرگراه مورد مطالعه ۱۲۰
۶-۲-۲- پیاده سازی مدل METANET بر داده های حقیقی ۱۲۱
۶-۲-۳- مدلسازی با شبکه عصبی ۱۳۰
۶-۲-۴- کنترل ترافیک در مطالعه موردی ۱۳۵

فصل هفتم: جمع بندی و پیشنهادات

۷-۱- جمع بندی ۱۴۳

۷-۲- پیشنهادات ۱۴۶

مراجع ۱۴۸

پیوست ۱ ۱۵۳

فهرست نمودارها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل ۱-۱- ترافیک سنگین در بزرگراه های شهری ۲

شکل ۱-۲- رشد تقاضا برای استفاده از بزرگراهها در آمریکا تا سال ۲۰۱۰ ۳

شکل ۱-۳- شماتیک حلقه کنترل برای کنترل سیستم ترافیک ۴

شکل ۱-۴- حلقه های القایی تعبیه شده در زیر سطح آسفالت جاده ۱۰

شکل ۱-۵- نمایش شماتیکی حلقه های القایی در بزرگراه ۱۰

شکل ۱-۶- دوربین ترافیکی نصب شده در ارتفاع مناسب نسبت به سطح جاده ۱۱

شکل ۱-۷- نصب ساده سیستم تشخیص نیوماتیکی ۱۲

شکل ۱-۸- اختلالات مغناطیسی ایجاد شده در میدان مغناطیسی زمین
ناشی از بدنه فلزی اتومبیل ۱۲

شکل ۱-۹- عملکرد رادار مایکرو ویو ۱۳

شکل ۱-۱۰- اختصاص دو باند سمت راست برای عبور ترافیک در جهت مخالف ۱۴

شکل۱-۱۱- تابلوهای حد سرعت ۱۵

شکل ۱-۱۲- سیستم های تطبیق هوشمند در اتومبیل ۱۶

شکل ۱-۱۳- شماتیک ساختار سیستم تطبیق سرعت هوشمند ۱۷

شکل ۱-۱۴- سیستم قیمت گذاری الکتریکی ۱۸

شکل ۱-۱۵- دستگاه IU ۱۹

شکل ۱-۱۶- پایه و تجهیزات نصب شده بر پایه ERP ۲۰

شکل ۱-۱۷- تابلوی راهنمای مسیر ۲۰
شکل ۱-۱۸- محدود کردن جریان ترافیک ورودی با استفاده از چراغ راهنمایی ۲۱
شکل ۲-۱- خیابان البرت در انگلیس ۲۴
شکل ۳-۱- گسسته سازی طول بزرگراه در حوزه مکان ۳۶
شکل ۳-۲- رابط و قطعه در طول بزرگراه ۴۱
شکل۳-۳- نمونه ای از دیاگرام بنیادی ۴۴
شکل ۳-۴- پدیده ادغام ۴۴
شکل ۳-۵- پدیده تلاقی ۴۶
شکل ۳-۶- تعداد اتومبیل هایی که می توانند از ورودی وارد بزرگراه شوند ۴۷
شکل ۳-۷- گره با یک رابط خروجی m و رابط های ورودی متعدد ۴۹
شکل ۳-۸- گره با یک رابط ورودی m و رابط های خروجی متعدد ۵۰
شکل۴-۱- ساختار نرون McCulloch -Pitt ۶۰
شکل۴-۲- ساختار شبکه MLP ۶۲
شکل ۴-۳- ترکیب PCA و شبکه عصبی در مدلسازی ترافیک ۶۹
شکل ۴-۴- مسیر بزرگراه مورد بررسی در مطالعه موردی ۷۰
شکل ۴-۵- شبیه سازی سرعت و چگالی چهار قطعه با استفاده از
هشت شبکه عصبی بدون PCA ۷۱
شکل ۴-۶- شبیه سازی سرعت وچگالی چهار قطعه بااستفاده از
شبکه عصبی یکپارچه بدون PCA ۷۲
شکل ۴-۷- نمودار درصد واریانس تجمعی ۷۳
شکل۴-۸- شبیه سازی سرعت و چگالی چهار قطعه با استفاده
از شبکه عصبی با PCA ۷۴
شکل ۵-۱- پیش بینی بر پایه مدل و ارزیابی تابع هدف در MPC ۷۹
شکل ۵-۲- بهینه سازی سیگنال کنترل ۸۰
شکل ۵-۳- نمای کامل کنترلر MPC ۸۱
شکل ۵-۴- شمای کلی MPC برای کنترل ترافیک ۸۷

شکل ۵-۵- بزرگراه فرضی برای مدلسازی و طراحی کنترلر ۹۳
شکل ۵-۶- درصد واریانسی مرتبط با هر یک از مؤلفه های اصلی ۹۴
شکل ۵-۷- سرعت و چگالی قطعه های ۳، ۵، ۸ و ۹ حاصل از
مدل METANET و شبکه عصبی ۹۵
شکل ۵-۸- نمودار تقاضا برای ورودی ها O_i و مبدأ ۹۷
شکل ۵-۹- سرعت، چگالی و فلوی دوازده قطعه در حالت بدون کنترل ۹۸
شکل ۵-۱۰- سرعت، چگالی و فلوی قطعه ۸ در وضعیت بدون کنترل ۹۹
شکل ۵-۱۱- چگالی، سیگنال کنترل و طول صف ورودی در قطعه
۸ با کنترلر ALINEA و مدل METANET، K_R برابر با ۰،۰۳ ۱۰۰
شکل ۵-۱۲- چگالی، سیگنال کنترل (Metering Rate) و طول صف ورودی
در قطعه ۸ با کنترلر ALINEA و مدل METANET، K_R برابر با ۰،۳ ۱۰۱
شکل ۵-۱۳- چگالی، Metering Rate و طول صف ورودی در قطعه ۸
با کنترلر MPC و مدل METANET با قید طول صف ۶۰ وسیله نقلیه ۱۰۳
شکل ۵-۱۴- چگالی، Metering Rate و طول صف ورودی در قطعه
۸ با کنترلر MPC و مدل شبکه عصبی با قید طول صف ۶۰ وسیله نقلیه ۱۰۴
شکل ۵-۱۵- چگالی، سیگنال کنترل (Metering Rate) و طول صف ورودی
در قطعه ۸ با کنترلر ALINEA و مدل METANET. K_R برابر با ۰،۰۳ و
قید طول صف برابر با ۴۰ وسیله نقلیه ۱۰۷
شکل ۵-۱۶- چگالی، سیگنال کنترل (Metering Rate) و طول صف ورودی
در قطعه ۸ با کنترلر ALINEA و مدل METANET. K_R برابر با ۰،۳ و
قید طول صف برابر با ۴۰ وسیله نقلیه ۱۰۸
شکل ۵-۱۷- چگالی، Metering Rate و طول صف ورودی در قطعه ۸
با کنترلر MPC و مدل METANET و قید طول صف ۴۰ وسیله نقلیه ۱۰۹
شکل ۵-۱۸- چگالی، سیگنال کنترل (Metering Rate) و طول صف ورودی درقطعه
۸ با کنترلر MPC و مدل شبکه عصبی و قید طول صف ۴۰ وسیله نقلیه ۱۱۱
شکل ۵-۱۹- چگالی قطعه ۹ با اعمال کنترلر MPC و مدل شبکه عصبی و

قید طول صف ۴۰ وسیله نقلیه ۱۱۲
شکل ۵-۲۰- چگالی، سیگنال کنترل و طول صف در قطعه ۸ و ۹ با اعمال
هماهنگ کنترلر MPC و مدل شبکه عصبی و قید طول صف ۴۰ وسیله نقلیه ۱۱۳
شکل ۶-۱- صفحه اصلی سایت پمز ۱۱۶
شکل ۶-۲- نمایش کلی سیستم پمز ۱۱۷
شکل ۶-۳- سیستم پردازش داده در پمز ۱۱۸
شکل۶-۴- موقعیت بزرگراه I10 در لس آنجلس ۱۲۰
شکل ۶-۵- موقعیت قسمتی از بزرگراه I10 ۱۲۱
شکل ۶-۶- گسسته سازی مسیر مورد نظر در بزرگراه I10-W ۱۲۲
شکل ۶-۷- تقریب مقدار بتا ۱۲۴
شکل۶-۸- تقاضا در ورودی قطعه های دوم، چهارم و پنجم ۱۲۵
شکل ۶-۹- تقاضا در مبدأ مسیر ۱۲۵
شکل ۶-۱۰- چگالی به دست آمده از METANET و داده های حقیقی ۱۲۷
شکل ۶-۱۱- چگالی، سرعت و فلوی پنج قطعه در اوج ترافیک صبح ۱۲۹
شکل۶-۱۲- ایجاد صف در مبدأ ۱۳۰
شکل ۶-۱۳- واریانس تجمعی داده ها ۱۳۱
شکل ۶-۱۴- سرعت و چگالی به دست آمده از شبکه عصبی با داده های آموزش
با فواصل ۵ دقیقه ۱۳۲
شکل ۶-۱۵- سرعت و چگالی به دست آمده از شبکه عصبی با داده های آموزش
با فواصل ۱۰ ثانیه ۱۳۴
شکل ۶-۱۶- چگالی، سیگنال کنترل و طول صف ایجاد شده در وروی قطعه
دوم با $\alpha_{ramp} = 0.04$ ۱۳۶
شکل ۶-۱۷- چگالی، سیگنال کنترل و طول صف ایجاد شده در وروی
قطعه دوم با $\alpha_{ramp} = 0.02$ ۱۳۷
شکل ۶-۱۸- چگالی در قطعه دوم، حد سرعت در قطعه اول و طول صف
ایجاد شده در مبدأ در نتیجه اعمال کنترلر MPC محدود کننده سرعت با

استفاده از مدل METANET ۱۴۰
شکل ۶-۱۹- چگالی در قطعه دوم، حد سرعت در قطعه اول و طول صف
ایجاد شده در مبدأ در نتیجه اعمال کنترلر MPC محدود کننده فلوی بزرگراه
با استفاده از مدل شبکه عصبی ۱۴۱

فهرست جداول

عنوان و شماره **صفحه**

جدول ۳-۱- اثر حد سرعت اجباری و اختیاری بر سرعت بزرگراه A1 در هلند ۵۱

جدول۴-۱- خطای NRMSE سرعت و چگالی هشت قطعه با هر سه حالت شبکه ۷۵

جدول ۵-۱- خطای NRMSE سرعت و چگالی تمام قطعه ها حاصل از مدلسازی با شبکه عصبی در بزرگراه فرضی مورد مطالعه ۹۶

جدول ۵-۲- مقایسه عملکرد کنترلر های مختلف در حالت طول صف کمتر از ۶۰ وسیله نقلیه ۱۰۶

جدول ۵-۳- مقایسه عملکرد کنترلر های مختلف در حالت طول صف کمتر از ۴۰ وسیله نقلیه ۱۱۴

جدول ۶-۱- پارامترهای حاصل از تطبیق مدل METANET با داده های حقیقی ۱۲۶

جدول ۶-۲- خطای NRMSE سرعت، چگالی و فلوی ترافیک پیش بینی شده توسط مدل METANET ۱۲۸

جدول ۶-۳- خطای NRMSE سرعت و چگالی پیش بینی شده توسط شبکه عصبی با داده های آموزش ۵ دقیقه ای ۱۳۱

جدول ۶-۴- خطای NRMSE سرعت و چگالی پیش بینی شده توسط شبکه عصبی با داده های آموزش در فواصل ۱۰ ثانیه ۱۳۳

جدول ۶-۵- خطای NRMSE سرعت و فلوی ترافیک پیش بینی شده توسط

شبکه عصبی با داده های آموزش در فواصل ۱۰ ثانیه ۱۳۸
جدول ۶-۶- خطای NRMSE سرعت، چگالی و فلوی ترافیک پیش بینی
شده توسط شبکه عصبی با داده های آموزش در فواصل ۱۰ ثانیه ۱۳۹
جدول ۶-۷- مقایسه عملکرد کنترلر های مختلف برای کنترل ترافیک
در بزرگراه مورد مطالعه ۱۴۲

فهرست اختصارات

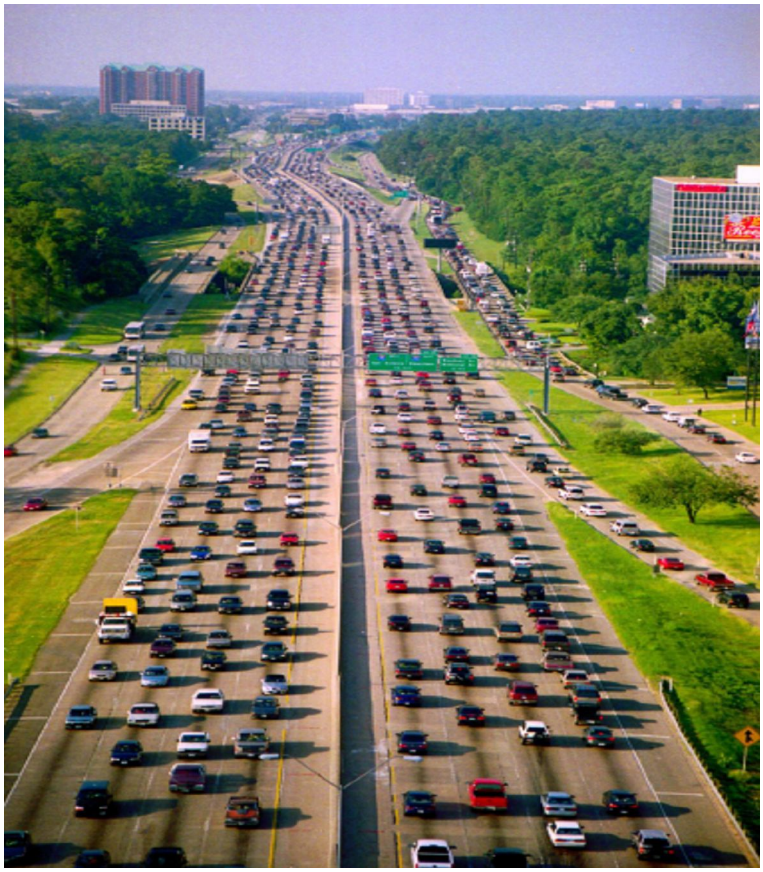
ABBREVIATION	MEANING
MPC	Model Predictive Control
PCA	Principle Component Analysis
NN	Neural Network
MLP	Multi Layer Perceptron
SVD	Singular Value Decomposition
ATMS	Advanced Traffic Management System
ISA	Intelligent Speed Adaptation System
ERP	Electronic Road Pricing
IU	Invehicle Unit
CTM	Cell Transmission Model
PeMS	Performance Measurment System
PATH	partnerrship for Advanced Technology on the Highways

۱- مقدمه

۱-۱- کلیات

مهندسی سیستمها و کنترل هرروزه موجبات رشد و توسعه هرچه مهمتر سیستم های اجتماعی و اقتصادی کشورها را فراهم می نماید. بکارگیری این علوم در شبکه های حمل و نقل از جمله این کاربردهاست. امروزه بزرگراه ها و اتوبان ها به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت ها به منظور حمل و نقل کالا و مسافرت به شمار می آیند. از طرف دیگر با توجه به افزایش سریع تعداد وسائط نقلیه شخصی در دهه های اخیر و به دنبال آن، تقاضا برای استفاده از اتوبان ها و بزرگراهها، تراکم ترافیک به خصوص در شهرهای بزرگ به مسئله ای اجتناب ناپذیر تبدیل شده است. تقریباً در تمام روزهای کاری هفته، صبح و بعد ازظهر در ساعات اوج ترافیک، در بسیاری از راههای اصلی شهرهای بزرگ، تراکم شدید ترافیک اتفاق می افتد که در بسیاری موارد به قفل شدن ترافیک منجر می شود و حاصل آن، میلیاردها دلار خسارت مادی و هدر رفتن وقت بسیاری از مسافران خواهد بود که ارزش آن از نظر مادی قابل ملاحظه است.

علاوه بر اثر تراکم ترافیک بر مسائل اقتصادی دولت ها، شرکت ها، بیمارستان ها، کارخانجات و ...، تأثیر این امر در زندگی روزمره افراد عادی جامعه نیز بسیار مشهود است که از آن جمله می توان به ایجاد استرس و مشکلات سلامتی اشاره کرد. همچنین ترافیک سنگین باعث افزایش مصرف سوخت، افزایش احتمال تصادف و آلودگی هوا می شود که حاصل آن، خسارات انسانی، اقتصادی و زیست محیطی است که جبران کردن آن مشکل و در برخی موارد ناممکن می باشد.



شکل ۱-۱- ترافیک سنگین در بزرگراه های شهری

در نگاهی اجمالی ایجاد تراکم در بزرگراهها و اتوبان ها، موجب کاهش راندمان این زیرساخت ها و وارد آمدن خسارات اقتصادی و اجتماعی به دولت ها و جوامع می شود. در نتیجه، این بزرگراه های پر هزینه به صورت کامل و بهینه مورد استفاده قرار نمی گیرند. به عنوان مثال، در سال ۲۰۰۶، اداره حمل و نقل آمریکا اعلام کرد که این کشور حدود ۲۰۰ میلیارد دلار در سال خسارت ناشی از گره های حمل و نقل و تأخیر های تحویل کالا داشته است، مسافران ۷،۳ میلیارد ساعت اتلاف وقت داشته اند و حدود ۱۱،۵ میلیارد لیتر سوخت اضافی بعلت توقف و کندی سرعت در ترافیک های سنگین مصرف شده است[۳۷]. شهر های بزرگ و پرجمعیت در سر تا سر دنیا با مشکلات مشابهی روبرو هستند. برای حل این مشکل راه حل های متفاوتی ارائه شده است:

- ساخت بزرگراه ها و جاده های جدید و پهن کردن جاده های فعلی (اضافه کردن باند به آنها) یکی از راه حل های موجود برای غلبه بر این مشکل است. اما با توجه به رشد زیاد و